

*Э.А.ГОРЮШКИН*, канд.техн.наук; *А.Э.ГОРЮШКИН*; НТУ «ХПИ»

## **АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОРОТКОИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫМИ МЕТОДАМИ**

У статті проведений аналіз основних та додаткових похибок вимірів, які вносяться під час аналого-цифрового перетворення сигналів, які мають тривалості, близькі до граничних параметрів існуючих АЦП та наведена оцінка точності вимірів у цих умовах.

The main and additional mistakes, which inserted during measuring of parameters of signals with length like time characteristics of ADC, are discussed. The value of measurement's precision for such conditions is adduced.

**Введение.** Для измерения параметров короткоимпульсных электромагнитных полей применяются только реперные измерители, использующие в качестве входного сигнала формируемое излучающей системой электромагнитное поле. Подобные измерители могут рассматриваться как широкополосные приемники, работающие с очень большими уровнями входного сигнала. Исключительно широкая полоса и наличие сравнительно низкочастотных составляющих в спектре анализируемого сигнала приводят к определенным сложностям при измерении его параметров аналого-цифровыми методами. При переходе к скоростным сигналам, отличающимся высокой начальной информационной интенсивностью, в АЦП, как правило, сосредоточены основные методические и технические трудности измерения в целом.

**Постановка проблемы.** При измерении параметров короткоимпульсных сигналов, имеющих широкий спектр, вопросы оценки погрешностей при их аналого-цифровом преобразовании являются решающими для реализации измерительного процесса.

**Анализ литературы.** Как правило, при оценке погрешностей измерения при аналого-цифровом преобразовании в качестве единственной ошибки, вносимой АЦП, рассматривается ошибка дискретизации [4-7]. Данную ошибку принято относить к случайной, но в некоторых случаях, как, например, при известном способе уменьшения случайной погрешности путем усреднения ряда результатов наблюдений, подобное упрощение может привести к неверной оценке [1,3]. Дополнительные ошибки АЦП [2] при нормальных условиях не учитываются.

**Целью статьи** является анализ основных и дополнительных ошибок измерения, вносимых при аналого-цифровом преобразовании сигналов с длительностями, близкими к предельным характеристикам существующих

АЦП и оценка точности измерений в этих условиях.

**Основная часть.** Погрешности, возникающие в процессе квантования, являются одной из важнейших характеристик аналого-цифрового преобразователя, которые определяют его качество и возможности применения в различных областях техники. Обычно АЦП характеризуют погрешностью, приведенной к пределу измерения – либо максимальной погрешностью

$$\delta_{\text{АЦП max}} = \frac{\Delta_{\text{АЦП max}}}{u_{\text{нр}}},$$

либо средним по шкале квадратом погрешности

$$\bar{\delta}_{\text{АЦП}}^2 = \frac{\bar{\Delta}_{\text{АЦП}}^2}{u_{\text{нр}}^2}.$$

Оценка погрешности АЦП средним квадратом используется тогда, когда необходимо знать ошибку, вносимую АЦП при совместных измерениях в многоканальных информационно-измерительных системах, или ошибку преобразования широкополосных входных сигналов.

Основной особенностью дискретизации в нашем случае является то, что за счет конечного времени одной выборки, сравнимого со временем существенного изменения сигнала на входе, и неопределенности момента ее окончания не удастся получить однозначного соответствия между значениями выборок и моментами времени, к которым они должны быть отнесены. Это приводит к возникновению специфических погрешностей дискретизации, динамических по своей природе. Для их оценки вводится параметр временной неопределенности, называемый апертурным временем.

Эффект апертурного времени проявляется либо как погрешность мгновенного значения сигнала при заданных моментах измерения, либо как погрешность момента времени, в которой производится измерение при заданном мгновенном значении сигнала.

Этот эффект приводит к амплитудным погрешностям, которые называются апертурными. Они численно равны приращению сигнала  $\Delta x(t) = x(nt - \tau_a) - x(nT)$ , подвергающегося преобразованию с периодом  $nT$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), где  $\tau_a$  — сдвиг по времени, определяющий апертуру (неопределенность привязки). Искомая погрешность в момент  $nT$

$$\Delta \hat{x}_a \approx x(nT) \tau_a. \quad (1)$$

Погрешности, возникающие при дискретизации случайных процессов, в частности – апертурные погрешности, представляют собой также случайный процесс и образуют некоторый мешающий шум.

Для каждого компаратора, входящего в состав АЦП, входным является измеряемый сигнал, а в качестве опорного уровня выступает напряжение, чаще всего формируемое источником образцового напряжения посредством

резистивного делителя, как наиболее простого в реализации. Резисторы делителя обладают определенной погрешностью, что приводит к неточной установке опорного уровня и увеличению погрешности АЦП.

Процесс аналого-цифрового преобразования можно представить как замену функции преобразования вида  $Y = X$  функцией преобразования вида:

$$Y = q \cdot \text{Int} \left( \frac{X}{q} + 0,5 \cdot \text{Sign } X \right), \quad (2)$$

где  $q$  – шаг квантования;

$$\text{Sign } X = \begin{cases} 1 & \text{при } X \geq 0; \\ -1 & \text{при } X < 0 \end{cases} \quad \text{– функция «знак числа } X \text{»};$$

$\text{Int}(A)$  – функция «целая часть числа  $A$ ».

Данная функция отображает процесс аналого-цифрового преобразования для случая, когда опорный уровень компаратора может быть найден по формуле:

$$U_{on N} = q(N + 0,5), \quad N = 0, 1, 2, \dots$$

Методическую ошибку такого преобразования можно оценить выражением:

$$\Delta_{мет} = q \cdot \text{int} \left\{ \frac{X}{q} + 0,5 \cdot \text{sign } X \right\} - X = 0,5 \cdot q \cdot \text{sign } X - q \cdot \text{Fr} \left\{ \frac{X}{q} + 0,5 \cdot \text{sign } X \right\},$$

где  $\text{Fr}(A)$  – функция «дробная часть числа  $A$ ».

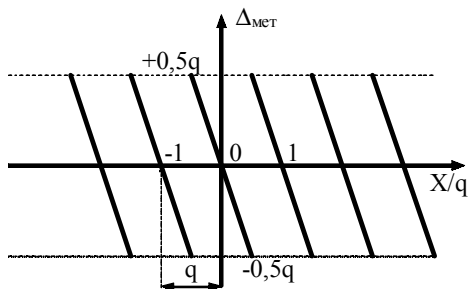


Рисунок 1.

Ошибка является периодической функцией измеряемой величины с периодом, равным  $q$ , и экстремумами  $\pm 0,5 q$ . График данной функции изображен на рисунке.

Данную ошибку принято относить к случайным и считается, что  $\Delta_{мет}$  распределена по равномерному закону в пределах  $\pm q/2$  с математическим ожиданием, равным 0.

Помимо методической, имеет место так называемая инструментальная ошибка, определяемая особенностями схемной реализации и составляющих элементов. Для реального аналого-цифрового преобразователя инструментальная ошибка может быть записана как

$$\Delta_{инс} = \Delta_{сист} + \Delta_H^0 + \Delta_{мет}^0,$$

где  $\Delta_{сист} = M(\Delta_{мет})$ ;

$\Delta_H^0, \Delta_{мет}^0$  – центрированные ошибка гистерезиса АЦП и случайная ошибка.

На основании всего сказанного дисперсия ошибки реального АЦП может быть определена как:

$$\sigma_{АЦП}^2 = \sigma_0^2 + \frac{H^2}{12} + \frac{q^2}{12}, \quad (3)$$

где  $\sigma_0$  – СКО центрированной случайной ошибки, определяемой внутренними шумами АЦП и апертурными ошибками;

$H$  – ширина зоны гистерезиса АЦП;

$q$  – шаг квантования.

С учетом того, что в системах, предназначенных для считывания показаний оператором,  $\sigma_0 \leq 0,1 q$ , а в системах автоматизированного съема результатов  $\sigma_0 \leq 0,2 q$ , а также того, что наличие гистерезиса у современных АЦП может считаться аномальным явлением и критерием пренебрежимой малости служит соотношение  $H \leq 0,6 q$ , формула (3) принимает вид:

$$\sigma_{АЦП}^2 \leq \frac{q^2}{(5...10)^2} + \frac{0,36q^2}{12} + \frac{q^2}{12}.$$

В окончательном варианте можно записать:

$$\sigma_{АЦП}^2 \leq 0,153q^2. \quad (4)$$

Полученная оценка приблизительно в 1,8 раза больше, чем использующийся для этой цели средний квадрат погрешности дискретизации АЦП, определяемый как  $\bar{\delta}_{АЦП}^2 = \frac{q^2}{12}$ .

**Выводы.** В статье были рассмотрены основные и дополнительные ошибки измерения, вносимые при аналого-цифровом преобразовании сигналов. Было выявлено, что при условиях, близких к предельным для существующих АЦП, пренебрежение дополнительными ошибками может существенно ухудшить точность измерения. Предложены новые критерии для оценки точности преобразования АЦП.

**Список литературы:** 1. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. – Пер. с английского. – М.: Мир, 1989. 2. Вострокнутов Н.Н. Цифровые измерительные устройства. Теория погрешностей, испытания, поверка. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 3. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1990. 4. Мирский Г.Я. Электронные измерения. – М.: Радио и связь, 1986. 5. Кушнир Ф.В. и др. Измерения в технике связи. – М.: Связь, 1976. 6. Изделия электронной техники. Цифровые микросхемы. Микросхемы памяти. Микросхемы ЦАП и АЦП: Справочник / О.Н.Лебедев и др.: Под ред. А.И.Ладика и А.И.Сташкевича. – М.: Радио и связь, 1994. 7. Кончаловский В.Ю. Цифровые измерительные устройства: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

Поступила в редколлегию 11.06.2007.